

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 703 364 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
27.03.1996 Patentblatt 1996/13

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: F04B 19/00, F04B 43/04

(21) Anmeldenummer: 95112161.5

(22) Anmeldetag: 02.08.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
CH DE FR GB IT LI NL

(30) Priorität: 22.09.1994 DE 4433894

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER  
ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.  
D-80636 München (DE)

(72) Erfinder:  
• Zengerle, Roland  
D-80337 München (DE)  
• Richter, Axel  
D-81379 München (DE)  
• Kluge, Stefan  
D-80997 München (DE)

(74) Vertreter: Schoppe, Fritz, Dipl.-Ing.  
Patentanwalt,  
Georg-Kalb-Strasse 9  
D-82049 Pullach (DE)

### (54) Verfahren und Vorrichtung zur Ansteuerung einer Mikropumpe

(57) Eine Mikropumpe (100) hat eine durch ihre Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung. Die durch die Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung wird wahlweise umgekehrt, indem ein Treibersignal mit einer Erregerfrequenz an die Mikropumpe (100) ange-

legt wird, welche im Bereich oberhalb einer Resonanz eines aus den beweglichen Teilen (106, 118, 120) der Mikropumpe (100) und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt.

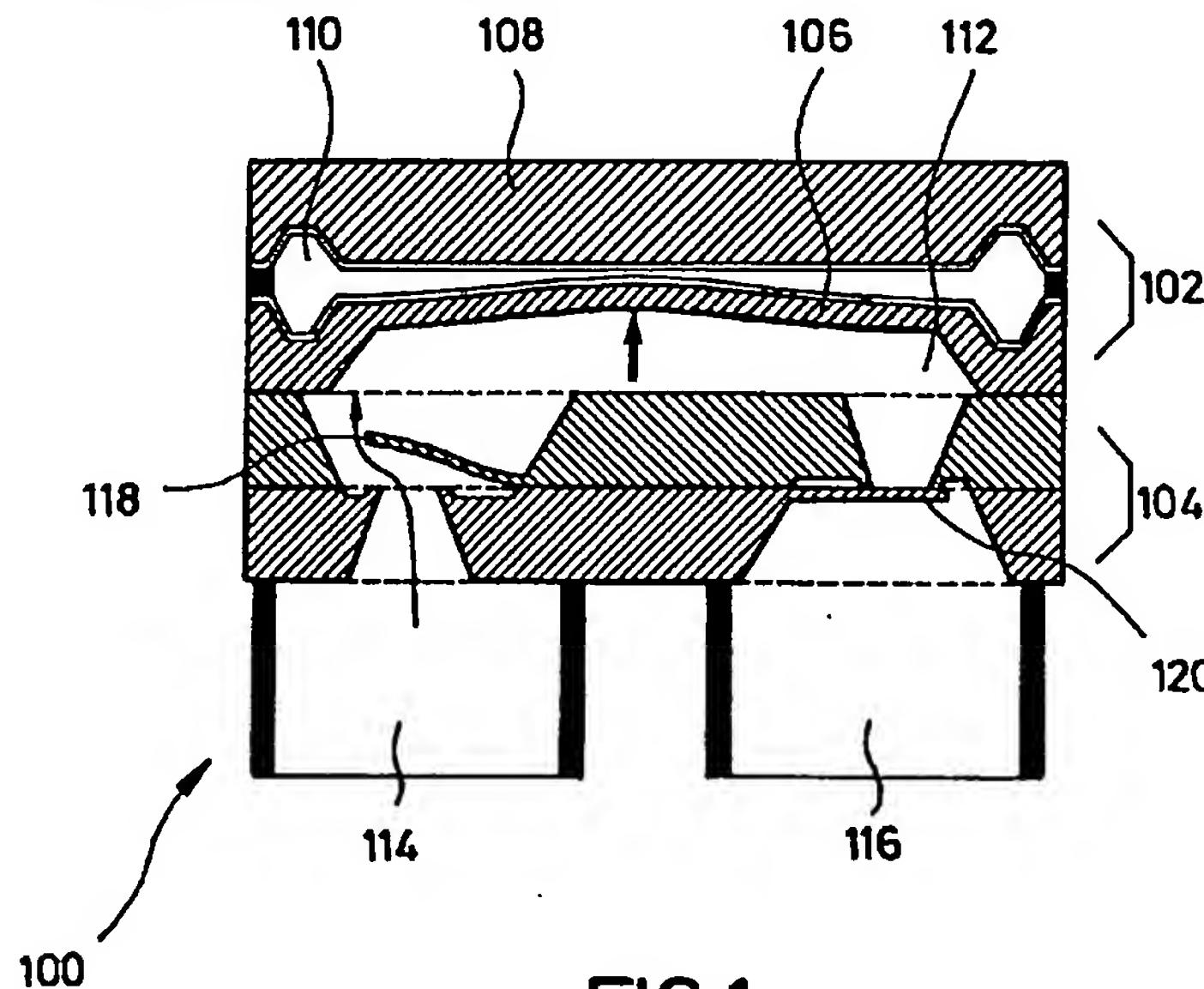


FIG.1

EP 0 703 364 A1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung einer Mikropumpe mittels eines Treibersignals, derart daß sich eine durch eine Ventilstruktur definierte Förderrichtung umkehrt.

Mikro-Membranpumpen sind beispielsweise aus der WO-93/05295 bekannt. Eine der dort beschriebenen Pumpen ist in Fig. 1 dargestellt.

Diese Mikro-Membranpumpe 100 umfaßt eine aus zwei Teilen bestehende Verdrängereinheit 102 und eine ebenfalls aus zwei Teilen bestehende Ventileinheit 104. Bei dieser Mikro-Membranpumpe umfassen die zwei Teile der Verdrängereinheit 102 eine flexible Pumpmembran 106 und eine starre Gegenelektrode 108. Zwischen der Pumpmembran 106 und der Gegenelektrode 108 ist eine sogenannte Antriebskammer 110 gebildet. Beim Anlegen einer Betriebsspannung wird die Pumpmembran 106 von der Gegenelektrode 108 angezogen. Das Volumen der Pumpkammer 112 vergrößert sich und ein zu pumpendes Fluid wird über einen Einlaß angesaugt. Beim Abschalten der Betriebsspannung relaxiert die Pumpmembran 106 in ihren Ausgangsbereich und verdrängt das zu pumpende Fluid in den Auslaß 116. Durch zwei passive Rückschlagventile 118, 120, die für die Fluidströmung eine Vorzugsrichtung definieren, ergibt sich bei einer periodischen Ansteuerung der Verdrängereinheit 102 eine gerichtete Pumpwirkung vom Einlaß 114 zum Auslaß 116 der Pumpe. Bei Betriebsfrequenzen, die weit unterhalb der Eigenfrequenz der beweglichen Ventileile liegen, ist das Verhalten der Ventile 118, 120 quasi statisch, d.h. die Stellung des beweglichen Ventileils ergibt sich zu jedem Zeitpunkt aus der über das Ventil anliegenden hydrostatischen Druckdifferenz.

Bekannte Verfahren zur Ansteuerung einer solchen Mikro-Membranpumpe ermöglichen das Pumpen eines Fluids in die durch die Ventile 118, 120 definierte Vorzugsrichtung.

Bei technischen Anwendungen der Mikromembranpumpe tritt oft die Situation ein, in der Fluide beispielsweise sowohl zu einem Sensorelement hintransportiert als auch wieder abtransportiert werden müssen. Dies tritt beispielsweise bei der chemischen Analytik auf, bei der Flüssigkeiten sowohl zu einem Sensorelement hintransportiert als auch wieder abtransportiert werden müssen. Sowohl für den Hintransport als auch für den Abtransport muß bislang jeweils eine Mikro-Membranpumpe eingesetzt werden, wobei diese Mikro-Membranpumpen entgegengesetzt angeordnet sind. Die Notwendigkeit der zwei Mikro-Membranpumpen erhöht die Komplexität solcher analytischer Systeme und deren Herstellungskosten und erschwert beim Betrieb dieser Systeme deren Befüllung mit einem Fluid erheblich.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung einer Mikropumpe zu schaffen, die eine Umkehr der durch

eine Ventilstruktur definierten Förderrichtung ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung einer Mikropumpe nach Anspruch 1 und nach Anspruch 6 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zur Ansteuerung einer Mikro-Membranpumpe mittels eines Treibersignals, wobei die Mikro-Membranpumpe eine durch eine Ventilstruktur definierte Förderrichtung hat, mit dem Verfahrensschritt des Anlegens des Treibersignals mit einer Erregerfrequenz an die Mikro-Membranpumpe, wobei die Erregerfrequenz im Bereich oberhalb einer Resonanz eines aus den beweglichen Teilen der Mikro-Membranpumpe und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt, wodurch sich die durch eine Ventilstruktur definierte Förderrichtung umkehrt.

Die vorliegende Erfindung schafft eine Vorrichtung zum Ansteuern einer Mikro-Membranpumpe mittels eines Treibersignals, wobei die Mikro-Membranpumpe eine durch eine Ventilstruktur definierte Förderrichtung hat, mit einer Einrichtung zum Erzeugen des Treibersignals mit einer Erregerfrequenz, die im Bereich oberhalb einer Resonanz eines aus den beweglichen Teilen der Mikro-Membranpumpe und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt, wodurch sich die durch eine Ventilstruktur definierte Förderrichtung umkehrt.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß für praktische Anwendungen, bei denen sowohl ein Hintransport als auch ein Abtransport von Fluiden zu einem Element erforderlich ist, lediglich eine Mikro-Membranpumpe eingesetzt werden muß, wodurch sich der erforderliche Platzaufwand erniedrigt.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Befüllung solcher Systeme mit einem Fluid erleichtert wird.

Wiederum ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Herstellungskosten solcher Systeme erheblich gesenkt werden können.

Bevorzugte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert.

Anhand der beiliegenden Zeichnungen wird nachfolgend ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung einer Mikro-Membranpumpe;

Fig. 2 eine maximale Auslenkung und eine Phasenverschiebung eines beweglichen Ventileils bei verschiedenen Dämpfungen bzw. Gütekriterien;

Fig. 3 einen zeitabhängigen Durchfluß durch ein Ventil abhängig von einer Betriebsfrequenz, einer Amplitude der Druckosillationen und unterschiedlichen Phasenverschiebungen;

Fig. 4 eine graphische Darstellung der Pumprate einer Mikro-Membranpumpe, die gemäß der vorliegenden Erfindung angesteuert ist; und

Fig. 5 ein Blockdiagramm, das die Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ansteuerung einer Mikro-Membranpumpe darstellt.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglichen es, die Pumprichtung bei Mikro-Membranpumpen (siehe Fig. 1) mit sogenannten passiven Rückschlagventilen 118, 120 umzukehren. Hierzu wird die Verdrängereinheit 102 mit einem Trebersignal beaufschlagt, das eine Betriebsfrequenz im Bereich einer Resonanz, die im wesentlichen durch die beweglichen Ventileite definiert ist, aufweist, die oberhalb dieser Resonanz liegt.

Es ist offensichtlich, daß es sich bei dieser Resonanz um eine Resonanz eines Systems handelt, das aus den beweglichen Teilen der Mikro-Membranpumpe (106, 118, 120) und aus dem zu pumpenden Fluid gebildet ist.

Durch die Ansteuerung entstehen in der Pumpkammer 112 Druckosillationen, die von der äußeren Erregerfrequenz abhängen. Durch das Fluidsystem werden diese Druckschwingungen auf die beweglichen Ventileite übertragen, wodurch sich das betreffende Ventil öffnet bzw. schließt.

Im Bereich der Resonanz ergibt sich jedoch eine Phasendifferenz zwischen der durch das Fluid übertragenen Kraft auf die beweglichen Ventileite und der aktuellen Auslenkung des beweglichen Ventileits.

Dieses Verhalten entspricht dem eines schwungsfähigen, mechanischen Systems, welches durch eine externe Kraft zu einer erzwungenen Schwingung angeregt wird. Wie es in Fig. 2a dargestellt ist, weist die Amplitude der Schwingung das bekannte Resonanzverhalten auf. Ferner ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen der erregenden Kraft und der Auslenkung des Schwingers, wie es in Fig. 2b dargestellt ist.

Die in Fig. 2 dargestellten Kurven 200 und 202 stellen den Verlauf der Auslenkung und der Phasenverschiebung bei verschiedenen Dämpfungen bzw. Gütefaktoren dar. Hierbei ist dem Verlauf der Kurve 200 ein Gütefaktor von 3 zugeordnet und dem Verlauf der Kurve 202 ist ein Gütefaktor von 1 zugeordnet.

Die in Fig. 2 dargestellte Auslenkung und Phasenverschiebung eines beweglichen Ventileits gilt für eine Resonanz dieses Teils von 3000 Hz.

In Fig. 3 geben die Verläufe in der ersten Zeile den sogenannten erregenden Druck an, die Signalverläufe in der mittleren Zeile geben den Öffnungszustand des beweglichen Ventils an und die Signalverläufe in der unteren Reihe zeigen den zeitabhängigen Durchfluß, wobei die jeweiligen y-Skalen in beliebigen Einheiten dargestellt sind.

Die Umkehrung der Pumprichtung wird durch das Zusammenwirken zweier Effekte ermöglicht.

Einerseits hinkt der Öffnungszustand des Ventils der durch die Flüssigkeit übertragene Kraft um die Phase  $\Theta$  hinterher, wie es in Fig. 3 deutlich zu erkennen ist.

Hieraus resultiert eine Verzögerung des Öffnungs- und Schließvorgangs des Ventils gegenüber der Fluidbewegung.

Der zweite Effekt besteht darin, daß eine Öffnung des Ventils lediglich in positiver Richtung möglich ist (siehe zweite Zeile der Fig. 3), d.h. während einer halben Periodendauer ist das Ventil vollständig geschlossen.

Wie aus Fig. 3 zu sehen ist, fließt mit zunehmender Phasendifferenz ein immer größerer Anteil des Fluids innerhalb eines Pumpzykluses in die Sperrichtung durch das Ventil. Dies bedeutet eine Umkehr der Förderrichtung ( $\Phi < 0$ ). Bei einer Phase von -180 Grad wird eine vollständige Umkehr der Förderrichtung erreicht, wie es in der fünften Spalte in Fig. 3 dargestellt ist.

In Fig. 4 ist die Frequenzabhängigkeit der Pumprate bei einer elektrostatisch angetriebenen Mikro-Membranpumpe unter Verwendung von sogenannten Klappenventilen in einem halblogarithmischen Maßstab dargestellt.

Im Frequenzbereich von 1 Hz bis 1 kHz befindet sich die Mikro-Membranpumpe in ihrem sogenannten Standard-Betriebsbereich, der durch den Pfeil 400 dargestellt ist. In diesem Standard-Betriebsbereich 400 weist die Mikro-Membranpumpe eine positive Pumprate ( $\Phi > 0$ ) auf, was einer vorwärtsgerichteten Pumpwirkung entspricht.

Im Frequenzbereich von 2 kHz bis 6 kHz, der durch den Pfeil 410 dargestellt ist, weist die Mikro-Membranpumpe eine negative Pumprate ( $\Phi < 0$ ) auf, was einer rückwärts gerichteten Pumpwirkung entspricht.

Es wird darauf hingewiesen, daß nicht nur die Phase, sondern auch die maximale Öffnung des beweglichen Ventileits sowie die Amplitude der erregenden Druckosillationen von der anliegenden Erregerfrequenz abhängen. Neben dem Effekt der Phasenverschiebung zwischen dem Öffnungszustand des beweglichen Ventils und der erregenden Druckosillation besteht auch eine Auswirkung der Frequenzabhängigkeit der maximalen Amplitude des beweglichen Ventils und die Frequenzabhängigkeit der Amplitude der erregenden Druckosillationen.

Durch eine geeignete Veränderung der Form der verwendeten Ventile kann die Resonanzfrequenz der in einer Mikro-Membranpumpe verwendeten, beweglichen Ventileite variiert werden. Hierdurch ist es möglich, den Frequenzbereich 410 zu beeinflussen, in dem die negative Pumprate auftritt.

Neben der oben beschriebenen sogenannten ersten Resonanz der beweglichen Ventileite treten auch Resonanzen höherer Ordnung auf. Mit jeder neuen Resonanz läßt sich die Förderrichtung erneut umkehren.

Es wird darauf hingewiesen, daß sich der Frequenzbereich 410, bei dem eine negative Pumprate auftritt, derjenige Frequenzbereich ist, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 90 Grad bis etwa 180 Grad zwischen dem Trebersignal und der Auslenkung der Ventile auftritt. Der Frequenzbereich, bei dem eine positive Pumprate auftritt, ist derjenige Frequenzbereich, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 0 Grad bis 90 Grad zwischen

dem Treibersignal und der Auslenkung der Ventilstruktur auftritt.

In Fig. 5 ist ein Blockdiagramm der Anordnung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Treibersignals und einer Mikro-Membranpumpe dargestellt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Ansteuern einer Mikro-Membranpumpe 510 mittels eines Treibersignals umfaßt eine Einrichtung 500 zum Erzeugen des Treibersignals mit einer Erregerfrequenz, die im Bereich oberhalb einer Resonanz der aus den beweglichen Teilen der Mikro-Membranpumpe 510 und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt. Das Treibersignal wird über eine oder mehrere Signalleitungen 520 an die Mikro-Membranpumpe 510 angelegt.

Ferner erzeugt die Treibersignalerzeugungseinrichtung ein zweites Treibersignal mit einer zweiten Erregerfrequenz, die in einem Bereich liegt, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 0 Grad bis 90 Grad zwischen dem Treibersignal und der Auslenkung der Ventilstruktur auftritt, um das zu pumpende Fluid in die durch die Ventilstruktur definierte Förderrichtung zu pumpen.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung sind nicht auf Mikro-Membranpumpen beschränkt, die Rückschlagventile verwenden. Die Anwendung der Erfindung auf Mikro-Membranpumpen, die anders ausgebildete passive Ventile verwenden, ist ohne weiteres möglich.

Weiterhin beschränkt sich die Anwendung der vorliegenden Erfindung nicht auf eine Mikro-Membranpumpe, die zwei Ventile verwendet. Die Verwendung von Mikro-Membranpumpen, die ein Ventil oder mehr als zwei Ventile verwenden, ist ohne weiteres möglich.

Neben der oben beschriebenen elektrostatischen Erregung der Pumpmembran der Mikro-Membranpumpe sind auch piezoelektrische und pneumatische bzw. thermopneumatische Antriebsmechanismen für die Mikro-Membranpumpe möglich.

In Betracht kommt auch ein thermischer Zweiphasenantrieb, bei dem eine Flüssigkeit in einer Antriebskammer erhitzt wird, wodurch sich eine Dampfblase bildet, durch die eine Pumpmembran durch Verdrängung betätigt wird. Der thermische Zweiphasenantrieb ermöglicht gegenüber einem rein thermopneumatischen Antrieb die Erzeugung höherer Drücke.

In Abweichung von den gezeigten Ausführungsformen der Antriebe kommt neben einem Membranverdränger auch ein Kolbenverdränger in Betracht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung einer Mikropumpe (100) mittels eines Treibersignals, wobei die Mikropumpe (100) eine durch eine Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung hat, gekennzeichnet durch folgenden Verfahrensschritt: Anlegen des Treibersignals mit einer Erregerfrequenz an die Mikropumpe (100), wobei die Erregerfrequenz im Bereich oberhalb einer Resonanz eines aus den beweglichen Teilen (106, 118, 120) der

Mikropumpe (100) und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt, wodurch sich die durch die Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung umkehrt.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikropumpe als eine Mikro-Membranpumpe (100) ausgebildet ist.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich, in dem die Erregerfrequenz liegt, derjenige Frequenzbereich ist, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 90 Grad bis etwa 180 Grad zwischen dem Treibersignal und der Auslenkung der Ventilstruktur (118, 120) auftritt.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Resonanz im wesentlichen durch die Ventilstruktur (118, 120) bestimmt ist.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Resonanz eine Resonanz erster Ordnung oder eine Resonanz höherer Ordnung ist.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner gekennzeichnet durch folgenden Verfahrensschritt: Anlegen eines zweiten Treibersignals mit einer zweiten Erregerfrequenz an die Mikropumpe (100), wobei die zweite Erregerfrequenz in einem Bereich liegt, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 0 Grad bis 90 Grad zwischen dem Treibersignal und der Auslenkung der Ventilstruktur (118, 120) auftritt, um das zu pumpende Fluid in die durch die Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung zu pumpen.
- 30 7. Vorrichtung zum Ansteuern einer Mikropumpe (510) mittels eines Treibersignals, wobei die Mikropumpe (100) eine durch eine Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung hat, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (500) zum Erzeugen des Treibersignals mit einer Erregerfrequenz, die im Bereich oberhalb einer Resonanz eines aus den beweglichen Teilen der Mikropumpe und dem zu pumpenden Fluid gebildeten Systems liegt, wodurch sich die durch die Ventilstruktur (118, 120) definierte Förderrichtung umkehrt.
- 35 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikropumpe als eine Mikro-Membranpumpe (100) ausgebildet ist.
- 40 9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet,
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- 70
- 75
- 80
- 85

daß die Treibersignalerzeugungseinrichtung (500) ferner ein zweites Treibersignal mit einer zweiten Erregerfrequenz erzeugt, die in einem Bereich liegt, bei dem eine Phasendifferenz von etwa 0 Grad bis 90 Grad zwischen dem Treibersignal und der Auslenkung der Ventilstruktur auftritt, um das zu pumpende Fluid in die durch die Ventilstruktur definierte Förderrichtung zu pumpen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

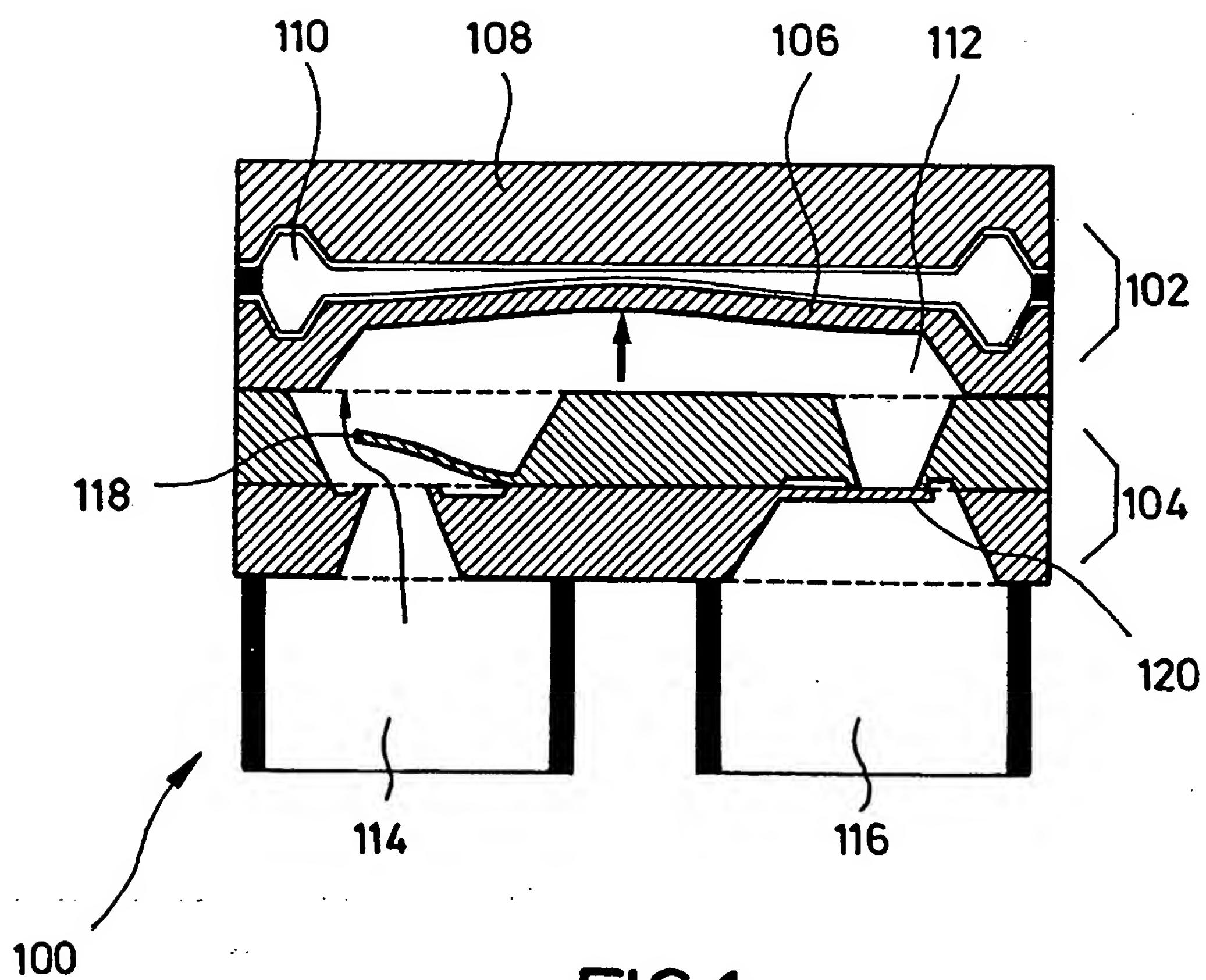


FIG.1

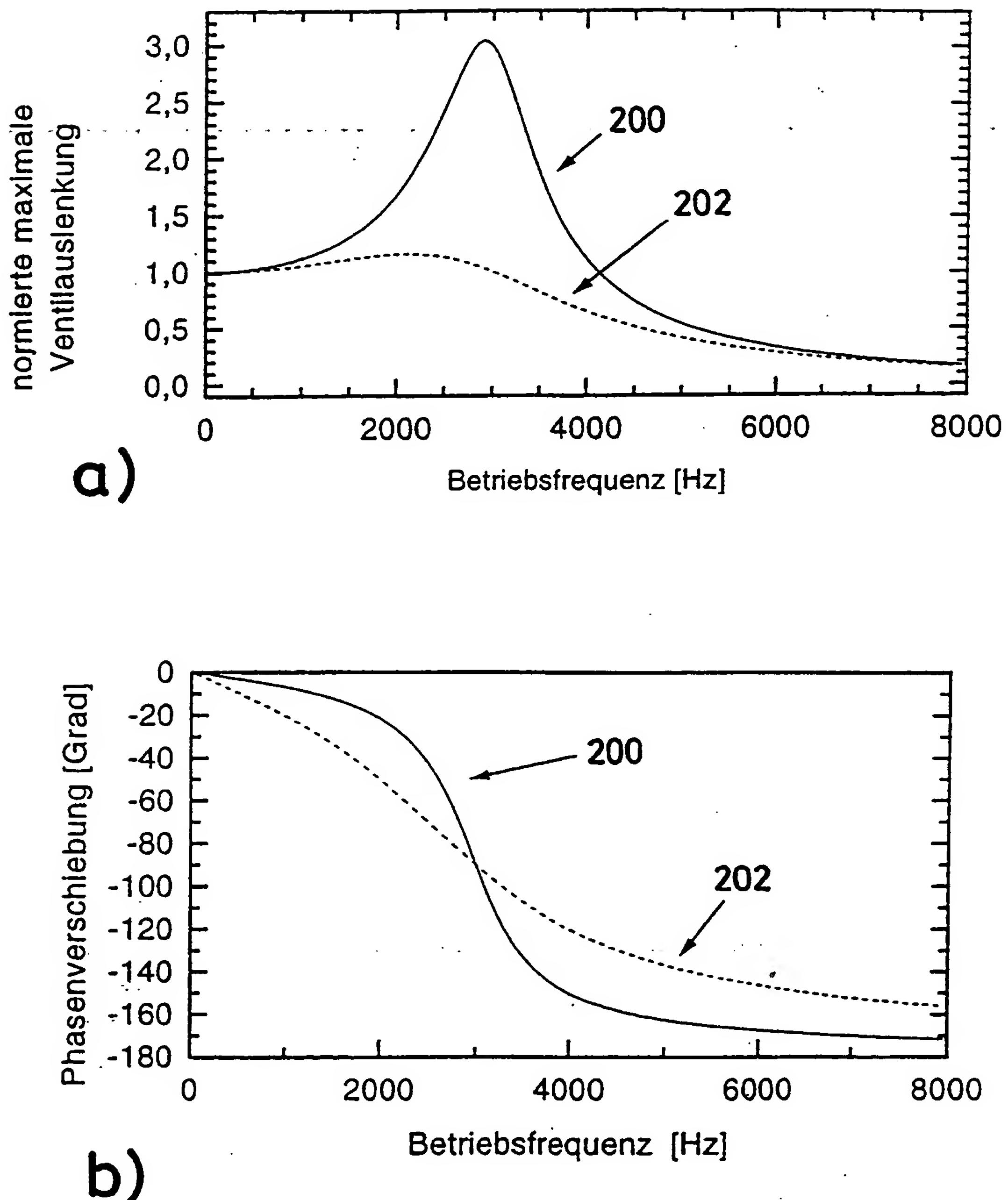
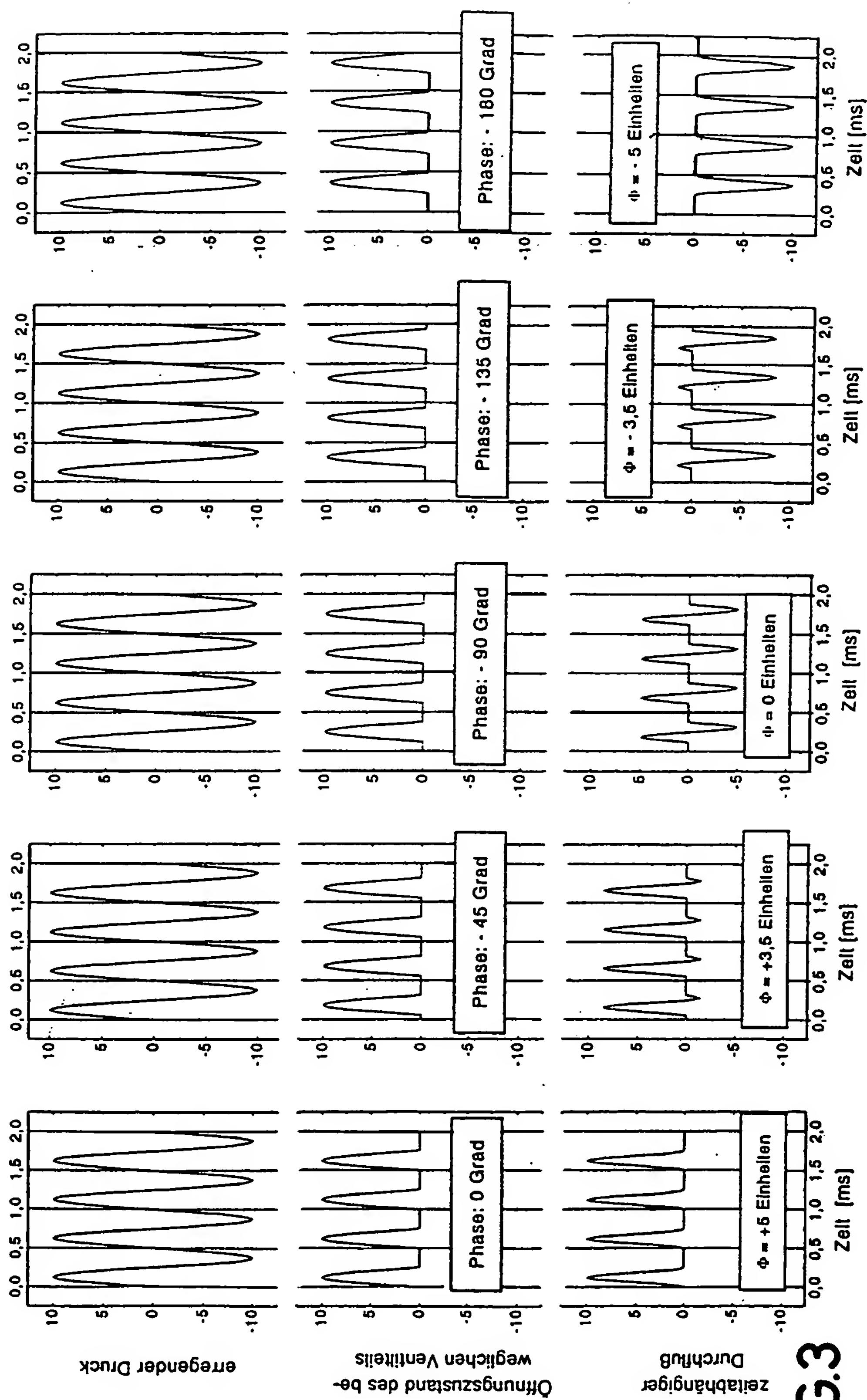


FIG. 2



**FIG. 3**

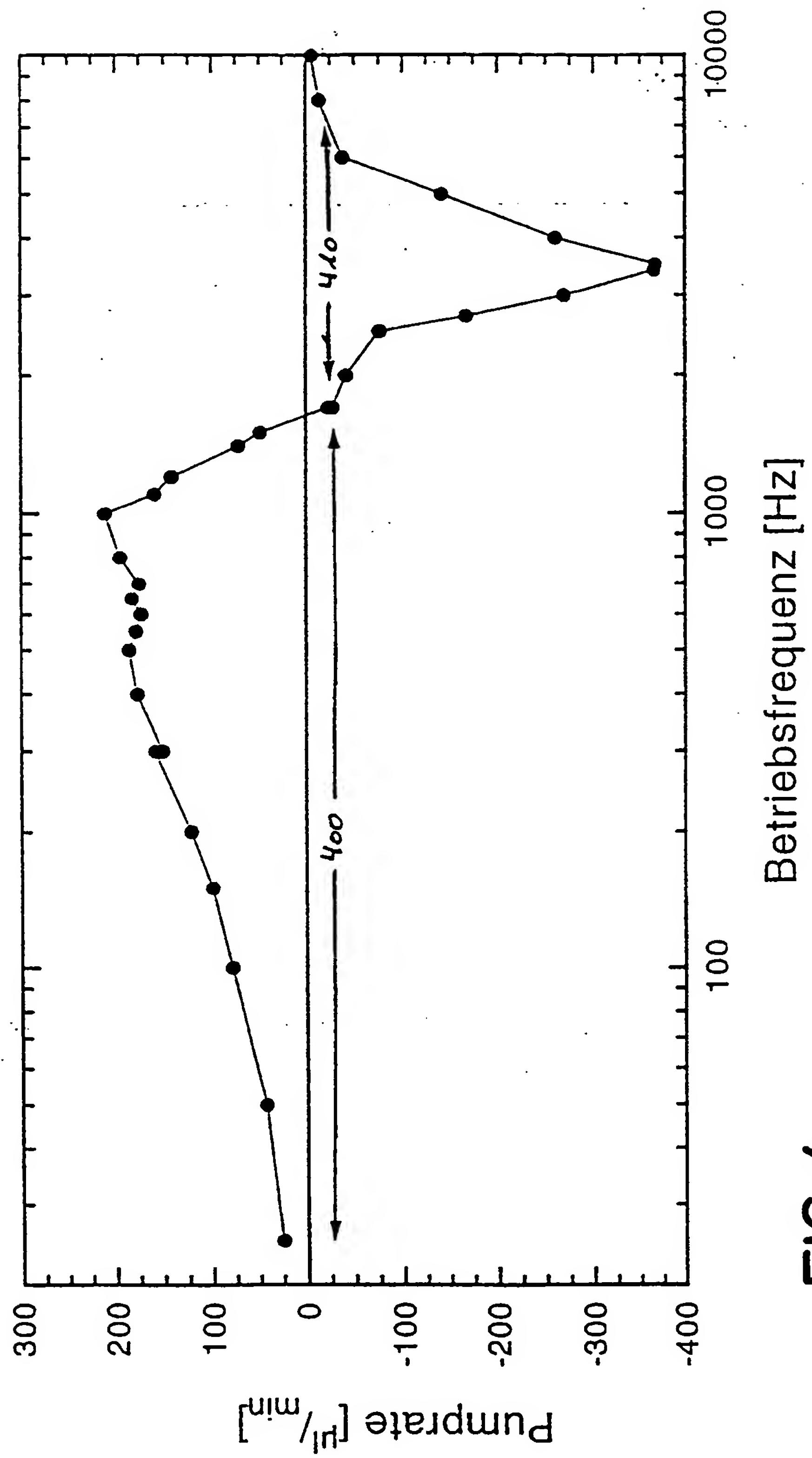


FIG. 4

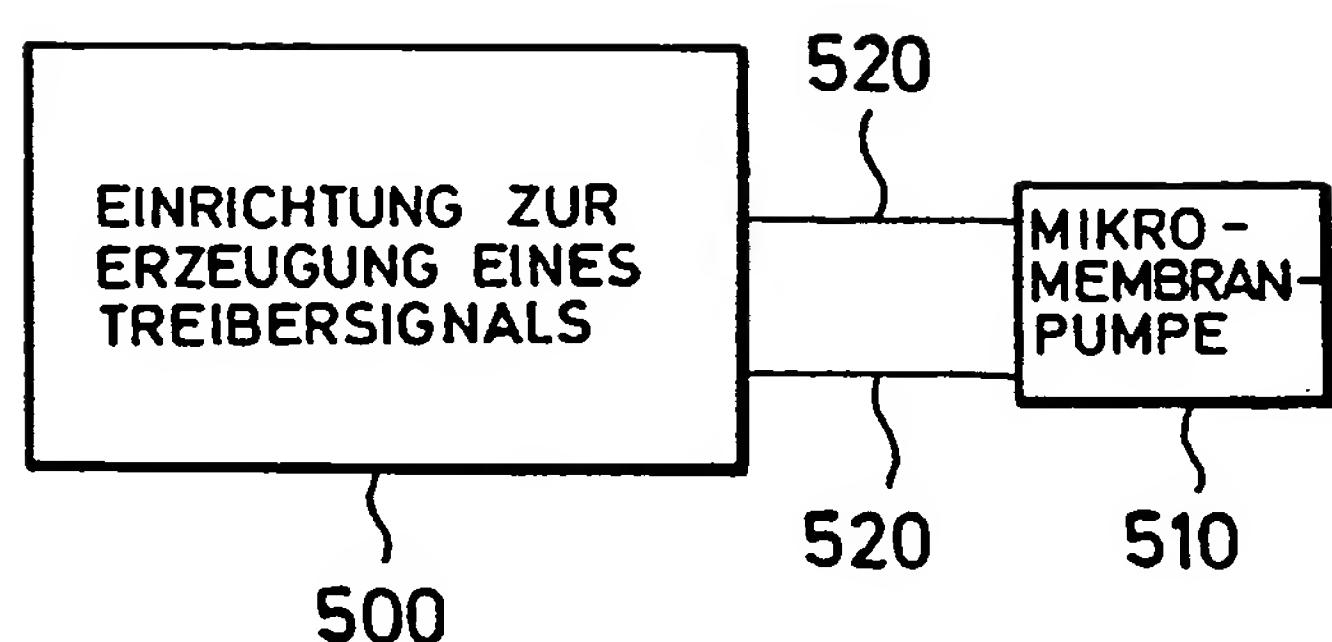


FIG.5



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrift Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A,D	WO-A-93 05295 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 18.März 1993 * Seite 7, Zeile 1 - Seite 14, Zeile 12; Abbildungen 1,2 * ---	1,7	F04B19/00 F04B43/04
A	ZENGERLE R 'a micro membrane pump with electrostatic actuation' 4.Februar 1992 , IEEE , TRAVEMÜNDE (DE) * das ganze Dokument *	1,7	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15 no. 497 (M-1192) ,16.Dezember 1991 & JP-A-03 217672 (SEIKO EPSON) 25.September 1991, * Zusammenfassung *	1,7	
A	US-A-4 344 743 (BESSMAN SAMUEL P ET AL) 17.August 1982 * Spalte 3, Zeile 51 - Spalte 4, Zeile 44; Abbildungen 1-4 *	1,7	
	-----		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	21.Dezember 1995	Bertrand, G	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A : technologischer Hintergrund			
O : nichtschriftliche Offenbarung			
P : Zwischenliteratur			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**